

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 629.735

Анализ причин появления влажности в воздушном судне

А.А. Сулейман, Е.В. Малая

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

Рассматривается актуальная научная проблема проникновения и накопления влаги в конструкциях воздушных судов, что оказывает существенно негативное влияние на безопасность полётов, долговечность материалов и эксплуатационные расходы. Объектом исследования являются современные воздушные суда с металлическими и композитными конструкциями, которые подвергаются воздействию климатических факторов, перепадам давления и специфике эксплуатации. Методология включает системный анализ источников влажности, механизмов конденсации и распространения влаги, а также изучение влияния влаги на коррозию, деградацию материалов и работу бортовых систем. Полученные результаты выявляют ключевые причины возникновения влаги, особенности её распределения в салоне и конструктивных элементах, а также демонстрируют негативные последствия для прочности и безопасности. Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций по контролю влажности и совершенствованию систем климат-контроля, что способствует повышению надёжности и экономической эффективности эксплуатации воздушных судов. Перспективы дальнейших исследований связаны с созданием новых материалов и технологий для защиты от влаги.

Ключевые слова: источники влажности, конденсация, воздушное судно, климатические факторы, коррозия, герметизация, композитные материалы, системный анализ влажности

Для цитирования. Сулейман А.А., Малая Е.В. Анализ причин появления влажности в воздушном судне. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(6):18–22.

Analysis of the Reasons of Moisture Formation in an Aircraft

Abdullahi A. Suleiman, Elena V. Malaya

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The paper studies the vital scientific problem of moisture penetration and accumulation in the aircraft structures, which has a quite negative effect on the flight safety, material durability and operating costs. The objects of the study are the modern aircrafts having metal and composite structures exposed to climatic factors, pressure fluctuations and specific operation conditions. The methodology includes a system analysis of moisture sources, condensation mechanisms and moisture propagation, as well as an analysis of moisture influence on corrosion, material degradation and operation of onboard systems. The results have revealed the key reasons of moisture formation, the features of its propagation in the aircraft cabin and structural components, and have demonstrated the negative effect of moisture on strength and safety of structures. The practical significance of the study includes the development of the recommendations on moisture control and improvement of the climate control systems, which would contribute to the increase of reliability and cost-efficiency of aircraft operation. The prospects for further research could be related to the development of the new moisture protecting materials and technologies.

Keywords: moisture sources, condensation, aircraft, climatic factors, corrosion, sealing, composite materials, system analysis of moisture

For Citation. Suleiman AA, Malaya EV. Analysis of the Reasons of Moisture Formation in an Aircraft. *Young Researcher of Don*. 2025;10(6):18–22.

Введение. Конденсация и проникновение влаги в конструктивные элементы воздушных судов являются ключевыми проблемами современной авиационной техники. С учетом растущих требований к надежности и безопасности полетов, данная проблема становится особенно актуальной. Накопление влаги может происходить по различным причинам: от воздействия климатических факторов и перепадов давления до проникновения через неплотности в фюзеляже и взаимодействия с материалами конструкции [1]. Последствия включают коррозию, ухудшение механических свойств, увеличение массы самолета и возможные отказы электрических систем, что в свою очередь повышает эксплуатационные риски и затраты [2].

Несмотря на существующие исследования, множество аспектов этой проблемы остается недостаточно изученными, особенно в контексте использования композитных материалов, обладающих высокой гигроскопичностью по сравнению с металлами [3]. Отсутствие системного подхода к анализу всех источников влаги и ее влияния на различные элементы конструкции создает пробел в научных знаниях.

Цель настоящего исследования заключается в проведении комплексного анализа причин появления влаги в воздушном судне, выявлении ключевых механизмов ее образования и распространения, а также оценке последствий для конструкционных материалов, внутренних систем и эксплуатационной эффективности самолета.

Основная часть. Возникновение влажности в конструкциях воздушных судов, как показано на рис. 1, представляет собой серьезную проблему, приводящую к деградации материалов, увеличению веса и рискам для безопасности. Вследствие постоянного воздействия колебаний температуры, влажности и изменения давления, самолеты подвержены значительному накоплению влаги. Основными причинами этого явления являются воздействие окружающей среды, структурные недостатки конструкции, образование конденсата и абсорбционные свойства материалов.

Проникновение влаги в конструкции воздушных судов происходит из различных источников, включая факторы окружающей среды, недостаточную герметизацию конструкции и процессы конденсации. Эти факторы создают благоприятные условия для накопления влаги, которая при отсутствии должного контроля может привести к существенным проблемам в техническом обслуживании и эксплуатационным рискам.



Рис. 1. Влажность в кабине воздушного судна [3]

В связи с циркуляцией воздуха в воздушных судах и изменениями давления на больших высотах, влажность в кабине самолета может снижаться до крайне низких значений [6]. Это явление особенно заметно на малозагруженных рейсах и существенно влияет на микроклимат салона. Анализ физических процессов показывает, что при подъеме самолета на крейсерскую высоту (10 000–12 000 метров) наружная температура может достигать -50°C и ниже. Это, в сочетании с компрессией воздуха, поступающего в систему кондиционирования, приводит к значительному снижению его относительной влажности.

Исследования показывают, что в современных пассажирских лайнерах относительная влажность воздуха в салоне может опускаться до 5–10 % при длительных перелетах, что существенно ниже рекомендуемого комфорtnого диапазона в 40–60 %. Такие низкие показатели влажности, как правило, характерны для малозагруженных рейсов, где отсутствует достаточное количество источников влаги. Интересно отметить, что при полной загрузке салона пассажирами влажность может повышаться до 15 % и более за счет естественного влаговыделения людей. Каждый человек, через дыхание и кожные покровы, выделяет примерно 30–50 грамм влаги в час [6].

Проведенные замеры в различных частях салона показывают неравномерное распределение влажности: наименьшие значения наблюдаются в передней части самолета и бизнес-классе, где плотность размещения пассажиров ниже, тогда как в эконом-классе, особенно в его центральной части, влажность может быть на 3–5 % выше. Эта разница объясняется как распределением пассажиров, так и особенностями системы вентиляции и кондиционирования.

Когда количество пассажиров достаточно велико, относительная влажность воздуха может достигать 15–18 %, что приближается к минимально комфортному уровню для человеческого организма. На таких уровнях влажность становится более благоприятной для кожных покровов, хотя все еще остается ниже оптимальной. В условиях крайне низкой влажности (менее 10 %) у пассажиров и членов экипажа часто возникают неприятные симптомы, такие как сухость и раздражение слизистых оболочек глаз, носа и ротовой полости, обезвоживание кожи, общий дискомфорт и повышенная утомляемость. Длительное пребывание в условиях пониженной влажности может также способствовать развитию респираторных инфекций из-за снижения защитных функций слизистых оболочек.

Современные производители воздушных судов внедряют различные технологические решения для повышения влажности в салоне, включая системы увлажнения воздуха и специальные материалы, которые способны удерживать и постепенно выделять влагу. Однако эти системы требуют тщательной балансировки, чтобы предотвратить избыточную влажность, которая, как описано ранее, может приводить к проблемам с конструкцией самолета из-за конденсации. Коррозионные процессы являются одним из ключевых последствий появления влаги в воздушном судне, что делает анализ причин ее возникновения критически важным. Взаимодействие влаги с металлическими элементами конструкции, особенно с широко используемыми алюминиевыми сплавами, инициирует окислительные реакции и развитие очагов точечной коррозии. Со временем это приводит к прогрессирующей деградации прочностных характеристик конструктивных элементов, существенно повышая вероятность механического разрушения и сокращая ресурс воздушного судна [4].

В современных воздушных судах с композитными элементами конструкции причины появления влаги выдают особое внимание, поскольку абсорбция влаги композитными материалами нарушает целостность полимерной матрицы и ослабляет адгезионные связи между армирующими волокнами. Анализ показывает, что это непосредственно ведет к снижению прочностных характеристик при растяжении и значительно повышает восприимчивость материала к усталостным напряжениям и межслойному расслоению.

Одна из причин необходимости контроля влажности заключается в том, что накопление влаги в пористых материалах конструкции воздушного судна приводит к увеличению полетной массы. Этот дополнительный вес негативно сказывается на топливной эффективности и летно-технических характеристиках самолета, что ведет к росту эксплуатационных затрат [5]. Более того, циклические изменения уровня влажности вызывают явления расширения и усадки материалов, создавая внутренние напряжения в конструкции и потенциально нарушая ее целостность.

Анализируя причины появления влаги в бортовых электрических системах, следует отметить, что проникновение влаги в эти чувствительные компоненты может стать источником коротких замыканий, функциональных сбоев и серьезных угроз безопасности. Конденсация влаги в отсеках авионики и на участках электропроводки нарушает передачу сигналов и приводит к спорадическим отказам оборудования. Поэтому комплексный анализ источников и путей проникновения влаги имеет первостепенное значение для разработки эффективных мер по снижению этих рисков.

Анализ причин появления влаги в воздушном судне также включает в себя изучение интересного феномена конденсации, который иногда наблюдается непосредственно в салоне самолета перед взлетом. Туман или белая дымка, заполняющие кабину воздушного судна, являются наглядным проявлением физических процессов образования влаги. Это явление возникает в результате взаимодействия двух воздушных масс с различными температурно-влажностными характеристиками: теплого и влажного наружного воздуха, поступающего через вентиляционную систему, и охлажденного воздуха в салоне (рис. 2). Когда водяной пар из поступающего воздуха достигает точки росы при контакте с более прохладной средой кабины, происходит конденсация и образование мельчайших капель воды, воспринимаемых визуально как туман.



Рис. 2. Конденсация влаги в салоне самолета при взаимодействии теплого внешнего воздуха с охлажденной средой кабины [5]

Особенно интенсивно этот феномен проявляется в периоды, когда воздушное судно находится на стоянке в условиях жаркого и влажного климата. Длительное пребывание самолета на земле в тропических аэропортах или в летний сезон создает идеальные условия для формирования значительной температурной разницы. После продолжительной работы системы кондиционирования на стоянке внутренняя среда салона охлаждается, в то время как наружный воздух остается теплым и насыщенным влагой. При открытии дверей для посадки пассажиров и последующем их закрытии перед запуском двигателей происходит перемешивание этих воздушных масс через вентиляционные отверстия, расположенные у багажных полок и вдоль пола салона.

Профессор атмосферных наук Марк Миллер объясняет этот процесс с точки зрения формирования облаков: «Охлажденный воздух, смешиваясь с теплым и влажным воздухом в салоне, опускается в нижнюю часть кабины. И если воздух в салоне содержит достаточно большое количество водяного пара, что характерно для определенных летних дней, может образоваться облако. Активация системы кондиционирования в начале полета является наиболее вероятной причиной этого явления» [6]. Таким образом, анализ причин появления влажности указывает на прямую зависимость от работы систем климат-контроля воздушного судна и особенностей температурно-влажностного режима окружающей среды.

Система охлаждения самолета, аналогично домашнему кондиционеру, спроектирована для снижения влажности воздуха, поскольку избыточная влага может нанести вред компонентам воздушного судна. По мере циркуляции туманообразного воздуха через системы самолета он быстро охлаждается и осушается, что объясняет кратковременность наблюдавшегося явления — обычно не более минуты. Критически важно отметить, что данный процесс не приводит к образованию крупных капель воды, способных выпадать в виде осадков на пассажиров или оборудование, что могло бы представлять дополнительный риск для электрических систем воздушного судна.

Следует подчеркнуть, что появление кабинного тумана не наблюдается на каждом рейсе и выражено зависит от климатических условий в аэропорту отправления. Согласно информации от представителей авиакомпаний, «облако или туман, с которым могут столкнуться пассажиры на борту воздушного судна, представляет собой просто формирование капель воды в результате встречи воздушных масс двух различных температур. Например, эти облака капель воды можно наблюдать во время летних операций, когда прохладный воздух из системы кондиционирования воздушного судна сталкивается с горячей и влажной средой в салоне» [6]. Данный аспект является важным при анализе причин появления влажности в воздушном судне и должен учитываться при проектировании систем вентиляции и кондиционирования, чтобы обеспечить комфорт пассажиров и предотвратить нежелательные последствия повышенной влажности для конструкции самолета.

Экономическое обоснование глубокого анализа причин появления влаги в воздушном судне очевидно: понимание источников и механизмов возникновения влаги позволяет разработать превентивные меры, предотвращающие дорогостоящие ремонты конструкции. Снижение массы самолета через эффективный контроль влажности напрямую влияет на топливную эффективность, обеспечивая существенную экономию в процессе эксплуатации. Комплексный анализ причин появления влаги критически важен для безопасности полетов, так как предупреждает структурную деградацию материалов и отказы бортовых систем [5].

Заключение. Проведенное исследование показало, что проникновение влаги в конструкции воздушного судна представляет собой многогранную проблему, обусловленную сочетанием климатических условий, особенностей конструкции, свойств материалов и режима эксплуатации. Цель работы — системный анализ причин возникновения влажности и ее влияния на техническое состояние воздушного судна — была достигнута благодаря комплексному подходу, включающему физические, эксплуатационные и материаловедческие аспекты.

Выявлено, что использование композитных материалов усиливает уязвимость конструкций к воздействию влаги, что требует переосмысления подходов к выбору материалов и проектированию узлов. Также отмечена значительная роль климатических систем, которые не только регулируют микроклимат салона, но и могут косвенно способствовать образованию влаги при определенных внешних условиях.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения её результатов при разработке превентивных мер для предотвращения коррозии, снижения массы конструкции за счёт контроля влажности, повышения топливной эффективности и общей надежности воздушного судна. В перспективе требуется углубленное изучение новых влагостойких материалов, совершенствование систем вентиляции и создание интеллектуальных систем мониторинга влажности, способных своевременно предотвращать её накопление.

Список литературы

1. Shen CH, Springer GS. Effects of Moisture and Temperature on the Tensile Strength of Composite Materials. *Journal of Composite Materials*. 1977;11(1):2–16. <https://doi.org/10.1177/002199837701100102>
2. Mikols WJ, Seferis JC, Apicella A, Nicolais L. Evaluation of Structural Changes in Epoxy Systems by Moisture Sorption-Desorption and Dynamic Mechanical Studies. *Polymer Composites*. 1982;3(3):118–124. <https://doi.org/10.1002/pc.750030304>

3. Fraga AN, Frulloni E, de la Osa O, Kenny JM, Vázquez A. Relationship between Water Absorption and Dielectric Behaviour of Natural Fibre Composite Materials. *Polymer Testing.* 2006;25(2):181–187. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2005.11.002>
4. EASA. *Easy Access Rules for Acceptable Means of Compliance for Airworthiness of Products, Parts, and Appliances. AMC 20-29 Composite Aircraft Structure. Annex II of July 26, 2010 to ED Decision 2010/003/R of 19/07/2010.* URL: <https://www.easa.europa.eu/mt/downloads/1698/en> (accessed: 20.06.2025).
5. King RJ, Basuel JC. Measurement of Basis Weight and Moisture Content of Composite Boards Using Microwaves. *Forest Products Journal.* 1993;43(9):15–22. URL: <http://europepmc.org/abstract/AGR/IND20372382> (accessed: 20.06.2025).
6. Cabin Humidity Pegasus Airlines. URL: <https://www.flypgs.com/en/travel-glossary/cabin-humidity?ysclid=mca58dd082364907> (accessed: 20.06.2025).

Об авторах:

Абдуллахи Алию Сулейман, магистрант кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), abdullahiibnsuleiman1@gmail.com

Елена Викторовна Малая, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), elevicma@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Abdullahi A. Suleiman, Master's Degree Student of the Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), abdullahiibnsuleiman1@gmail.com

Elena V. Malaya, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), elevicma@mail.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.